

PAOLO FORTI** e ALFREDO BINI*

ANALISI STATISTICA DELLE PISOLITI DEL «BUCO DEL CASTELLO» (1309 Lo-BG)

RIASSUNTO - All'interno del Buco del Castello (Lombardia, Italia) sono state trovate alcune vaschette con un altissimo numero di pisoliti di varia dimensione, che sono state tutte campionate.

L'analisi statistica ha rivelato come vi sia sempre una relazione diretta tra le dimensioni minime delle pisoliti ed il grado di turbolenza all'interno della stessa vaschetta.

Inoltre è stato evidenziato come esista una proporzionalità inversa tra il numero delle pisoliti e la loro superficie esterna.

ABSTRACT - During the exploration of the «Buco del Castello» cave (Lombardia, Italy) several cups with inside a very large number of cave pearls have been found.

All these pearls have been taken off.

The statistical analyses showed that there is always a direct relation between the minimum diameter of the pearls and the degree of water turbulence inside each cup.

Moreover it has been pointed out that an inverse proportion probably has to exist between the number of the pearls and their external surface.

INTRODUZIONE

Durante l'esplorazione e lo studio del Buco del Castello 1309 Lo-BG, che il Gruppo Grotte Milano CAI SEM ha condotto tra il 1969 e il 1971, è stato scoperto un ramo di notevole sviluppo, denominato «Ramo Nuovo» che inizia dal Labirinto a circa 100 m di profondità. Uno dei principali motivi di interesse del Ramo sono le numerose pisoliti presenti.

Con una decisione, forse discutibile dal punto di vista «ecologico», quasi tutte le pisoliti sono state raccolte, vaschetta per vaschetta, in modo da poterle in seguito studiare. Le poche vaschette rimaste sono state poi saccheggiate da ignoti, il che giustifica, almeno in parte, la decisione di «saccheggiare scientificamente» la grotta.

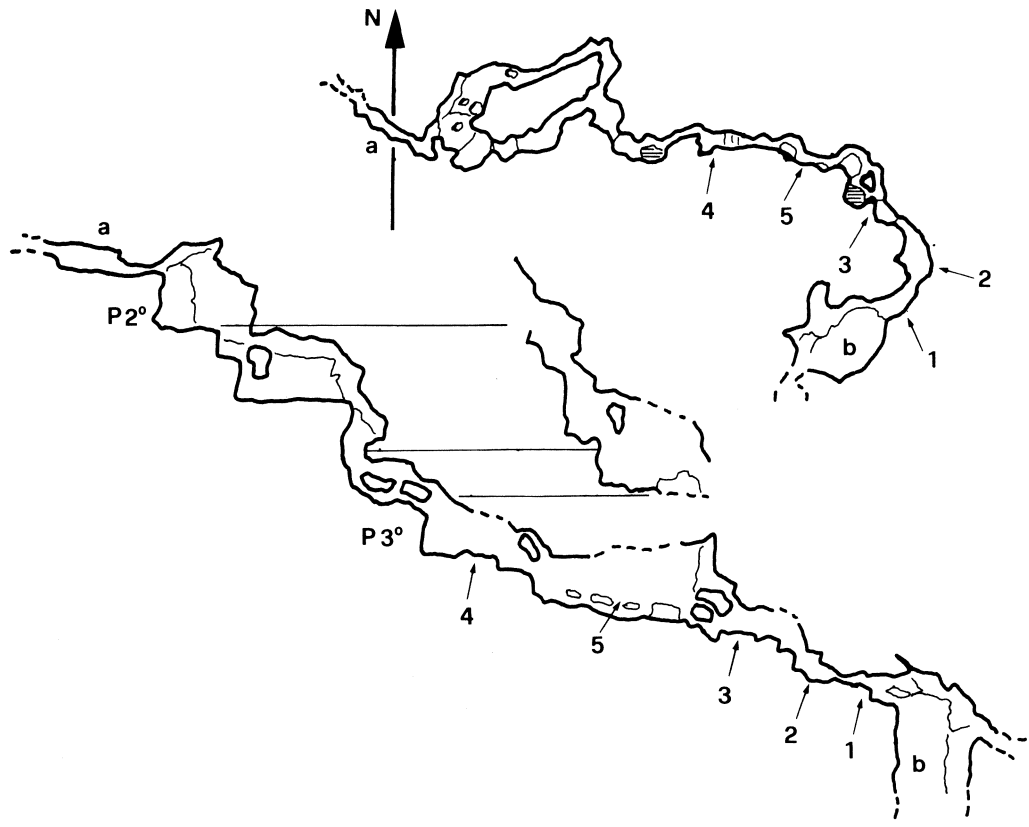
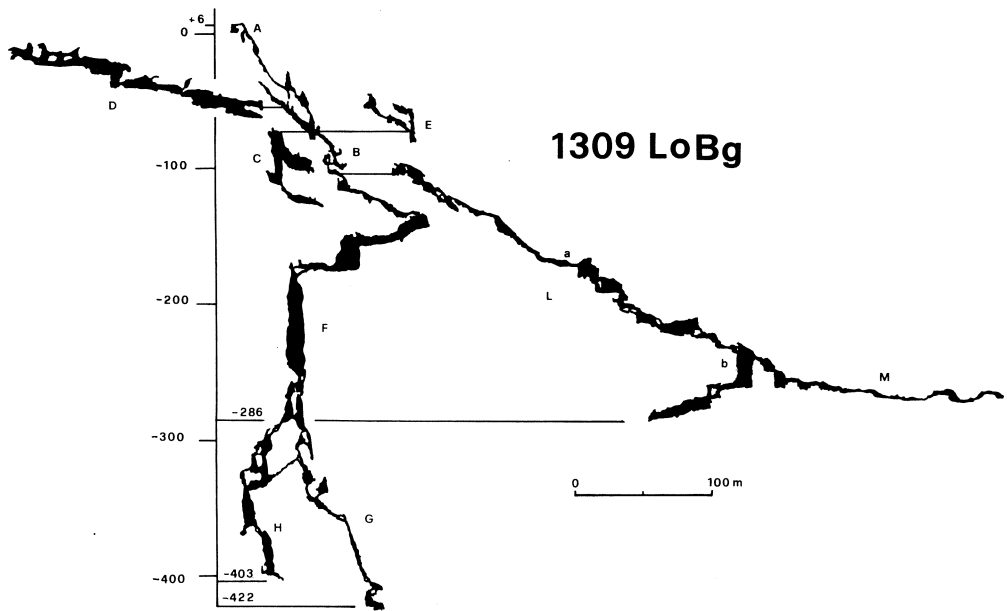
Purtroppo per lunghi anni le pisoliti sono state dimenticate in un cassetto e solo ora sono state riprese per essere studiate.

LA GROTTA

Il Buco del Castello si apre a 1300 m di quota a livello del torrente Valsecca, un affluente di sinistra del fiume Brembo. Schematicamente esso è costituito da una condotta fossile che scende per 80 m sino ad una grande sala in cui si immettono due rami interessati da intensa circolazione idrica: il «Ramo Talpe» (RT) e il «Segno di Zorro» (SZ). A livello della Sala si trova poi il cosiddetto Labirinto dal quale si dipartono due rami:

* Gruppo Grotte Milano SEM-CAI. Società Speleologica Italiana.

** Istituto Italiano di Speleologia, Bologna.



il principale che con una serie di pozzi giunge al fondo a —422 m e il «Ramo nuovo» (RN) che volge a SE sino alla profondità di —286 m.

L'acqua del torrente Valsecca viene inghiottita all'altezza del Buco del Castello e percorre, in gran parte, il SZ. La modesta attività idrica del RN deriva da una perdita del SZ (Vanin, 1974).

Il RN inizia con una galleria fossile interessata da latte di monte e concrezioni a ce-spuglio di aragonite sino al 1 pozzo. Il tratto tra il I e il II pozzo è caratterizzato da morfologia clastica, con massi in parte coperti da colate di concrezione. Verso il II pozzo inizia l'attività idrica e si comincia a trovare alcune vaschette di pisoliti.

Dalla sala sotto il II pozzo si dipartono due vie che si ricongiungono poco dopo sul III pozzo. Lungo la via attiva si trovano altre vaschette di pisoliti. Dal III pozzo inizia una galleria, ora stretta ed ora larga, molto concrezionata che alternando tratti suborizzontali a modesti saltini porta al Pozzo da 30. Questo è il tratto più ricco in pisoliti, dove è stata eseguita la campionatura (fig. 1).

Le pisoliti si trovano sia sul pavimento sia sulle mensole laterali in numerose vaschette di cui alcune sono costituite essenzialmente da pisoliti cementate al fondo (fig. 2, 3, 4, 5).

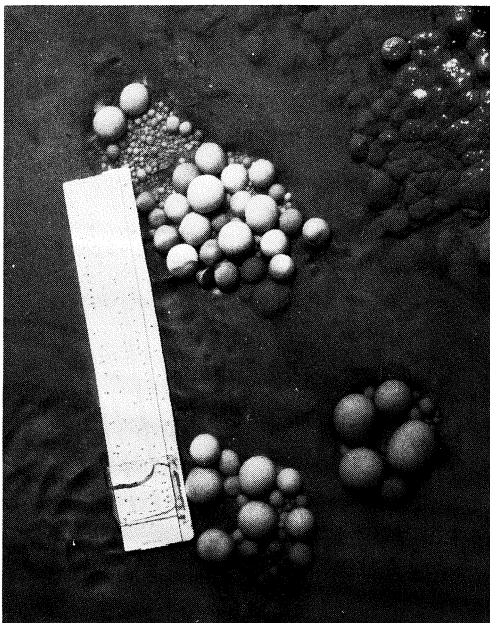
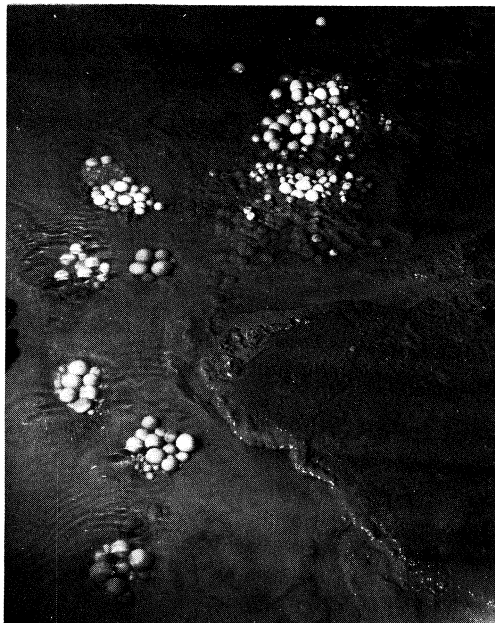


Fig. 2 - Visione d'insieme delle vaschette della zona 2. (Foto L. Diamanti)

Fig. 3 - La vaschetta 2 (1): si notino al di sotto delle pisoliti grandi quelle di taglia nettamente inferiore. (Foto L. Diamanti)

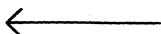


Fig. 1 - Rilievo del Buco del Castello: A = ingresso; B = Labirinto; C = P. 40; D = Ramo del Segno di Zorro; E = Ramo Talpe; F = P. 82; G = Ramo attivo; H = Ramo fossile; L = Ramo nuovo; M = Ramo delle Vergini.

a-b = zona a pisoliti.

1B: Parte del Ramo nuovo con distribuzione delle pisoliti.

a-b = zona a pisoliti; i numeri si riferiscono al numero delle vaschette.

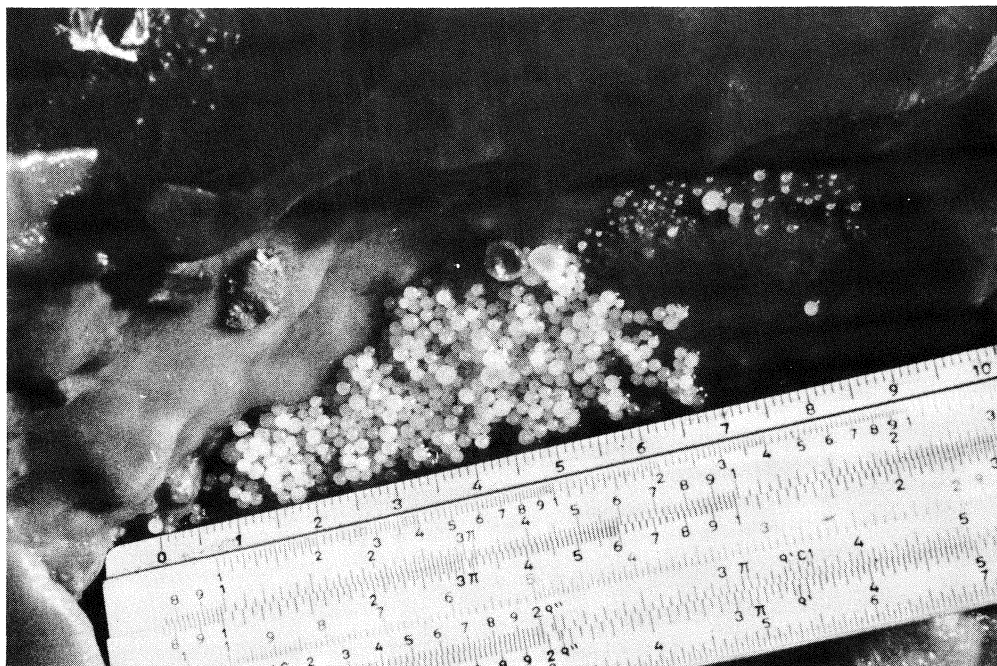


Fig. 4 - La vaschetta 5 con le pisoliti a struttura aciculare esterna. (Foto L. Diamanti)

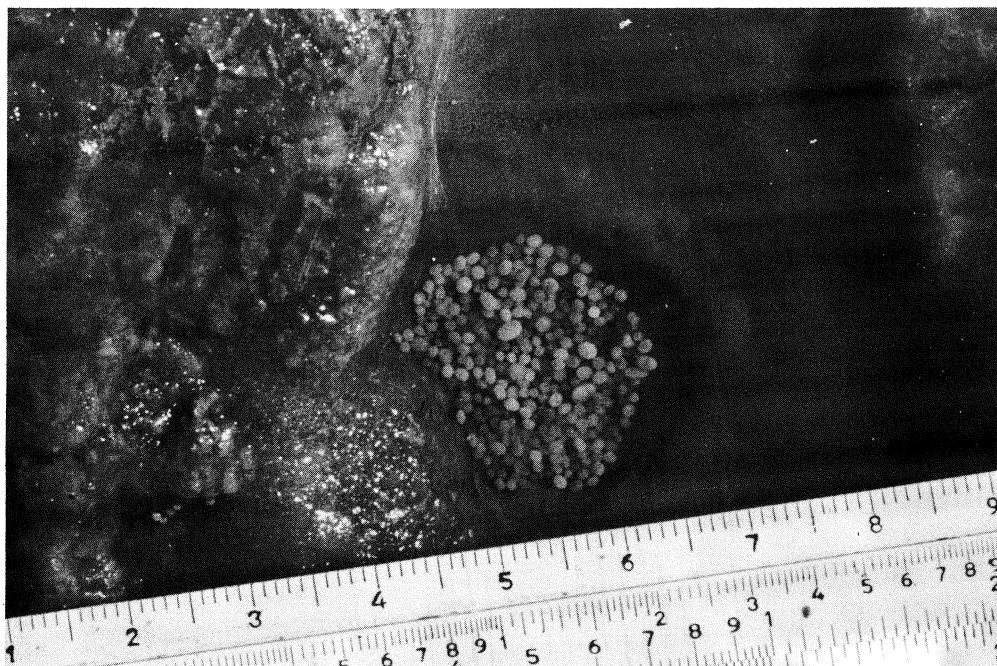


Fig. 5 - La vaschetta 2 (5) con pisoliti tutte di diametro inferiore a 4 mm. (Foto L. Diamanti)

PARTE SPERIMENTALE

Dal punto di vista morfologico le pisoliti del Buco del Castello possono essere ritenute, per la quasi totalità, assolutamente normali: presentano infatti una struttura superficiale liscia o appena rugosa e tessitura interna a lamine concentriche.

Fanno eccezione solamente le pisoliti della vaschetta 5 che presentano una struttura aciculare esterna (ULLASTRE & MASRIERA, 1973) del tutto analoga a quella delle pisoliti rinvenute all'interno della Grotta del Forgnone (1010 Lo-BG) ed anche in altra zona dello stesso Buco del Castello, la cui genesi è stata descritta di recente (BINI, FORTI, 1981).

L'ipotesi genetica proposta per le pisoliti del Forgnone ben si adatta anche a questo caso: infatti anche le pisoliti della vaschetta 5 possono essere considerate «parietali» per la loro posizione sopra una mensola laterale ben al di sopra del livello a cui il ruscello che scorre nella galleria può giungere nei periodi di piena.

A differenza di quelle del Forgnone, però, tra le pisoliti della vaschetta 5 non è stato rinvenuto alcun monocristallo di calcite, mentre le pisoliti stesse raggiungono dimensioni molto maggiori (fino a 5-10 volte) di quelle del Forgnone.

Questo fatto fa pensare che l'ambiente genetico in questo caso sia abbastanza più agitato di quello riscontrato nel Forgnone, e tale che non permetta la ritenzione di elementi della dimensione appunto dei cristalli singoli di calcite.

Questa ipotesi sembra poi anche essere confermata dal fatto che in questo caso tutte le pisoliti possiedono un nucleo di partenza, a differenza di quelle del Forgnone ove in alcuni casi era il monocristallo di calcite che fungeva da nucleo iniziale per la pisolite.

Oltre allo studio morfologico si è proceduto ad effettuare un'analisi statistica sulle dimensioni delle pisoliti di ogni singola vaschetta.

I risultati di tale analisi sono riportati in tab. 1 e 2.

TABELLA 1 - Distribuzione delle pisoliti nelle singole vaschette.

Vaschetta	N. tot. Pisoliti	Numero pisoliti per classe granulometrica											
		16	11.2	8	5.6	4	2.8	2	1.4	1	0.5	0.25	<0.25
1 (1)	59	3		5	7	9	22	13					
1 (1)bis	72				5	14	17	27	5	3	9		
1 (2)	74		4	9	16	25	8	12					
1 (3)	33			6	3	8	13	3					
1 (4)	24		2	12	5	5							
1 (5)	19	3	8	8									
2 (1)	1.5 × 10 ⁶	10	15	18	188	434	930	2240	6277	15671	41463	94314	6 × 10 ⁵
2 (2)	81				2	29	12	23	8	2	5		
2 (3)	23		1	14	8								
2 (4)	111				3	36	38	17	3	2	12		
2 (5)	224						3	12	39	170			
3 (1)	117		12	24	48	24	8	1					
3 (2)	22	2	6	12	2								
3 (3)	55		2	10	16	20	6	1					
4 (1)	21	5	9	5	2								
4 (2)	178	8	35	17	14	4	9	21	30	40			
4 (3)	84		10	9	28	12	11	14					
4 (4)	37	4	7	5	7	4	3	7					
4 (5)	87	4	15	7	3	9	9	10	20	10			
5	1468							62	153	183	390	680	

TABELLA 2 - Distribuzione secondo le classi granulometriche delle pisoliti di vaschetta 2 (1)

Classi	Raggio medio	Volume medio	Superficie media	Peso tot.	Peso 100 pisoliti	N. Pisoliti
16	10	4188	1256			10
8	6	904	452.4			33
5.6	3.4	164.6	145.27			188
4	2.4	57.91	72.38			434
2.8	1.7	20.579	36.317			930
2	1.2	7.238	18.096			2240
1.4	0.85	2.572	9.079	56.5	0.9*	6277
1	0.6	0.9048	4.524	50.15	0.32*	15671
0.5	0.375	0.2200	1.7671	34.02	0.082*	41463
0.25	0.187	0.0270	0.4471	9.04	0.009585	94314
0.125	0.094	0.00348	0.1110	2.04	0.001235	165182
0.063	0.047	0.000435	0.0277	0.42	$1.544 \cdot 10^{-4}$	272021
<0.063	0.015	$1.57 \cdot 10^{-5}$	0.0030	0.05	$5.574 \cdot 10^{-6}$	897180

* Valore ricavato dalla media dei pesi per 600 pisoliti. Per le classi da 0.25 in poi il valore è ricavato per via matematica utilizzando il volume medio e facendo quindi il rapporto con le classi precedenti.

Dall'analisi dei risultati riportati in tab. 1 si può notare che da vaschetta a vaschetta vi è una certa differenza nelle dimensioni minime delle pisoliti presenti: infatti nelle vaschette 1 (5), 2 (3), 3 (3) e 4 (1) gli elementi minori risultano esser della classe granulometrica 5, 6-8, mentre in altri casi si giunge a elementi della classe 0.5-1 o inferiori e nel caso della vaschetta 2 (1) si arriva a elementi di diametro inferiore ai 63 micron (v. tab. 2).

Per cercare di stabilire a cosa debba esser ascritta questa variazione nella dimensione degli elementi minori presenti si sono sezionate tutte le pisoliti delle vaschette 1 (5), 2 (3), 3 (3) e 4 (1) onde poter fare un'analisi statistica sulle dimensioni dei loro nuclei.

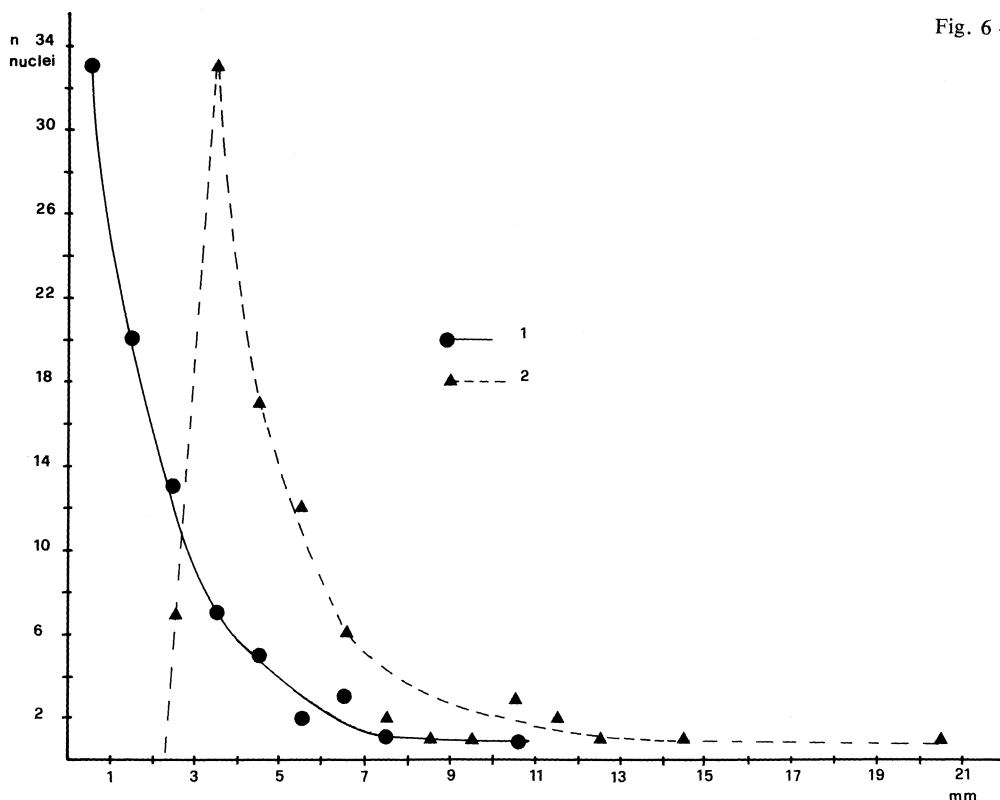
Si è quindi proceduto a sezionare un ugual numero di pisoliti delle stesse classi granulometriche presenti nelle tre vaschette, ma questa volta della 2 (1), cioè di quella in cui erano state trovate le pisoliti più piccole.

I risultati di tali analisi sono riportati in tab. 3 e sono espressi graficamente in fig. 6.

Si può immediatamente notare come vi sia una netta differenza nella dimensione dei nuclei nel caso della vaschetta 2 (1), ove risultano di gran lunga più piccoli che in

TABELLA 3 - Distribuzioni dimensionali dei nuclei delle pisoliti delle vaschette 1 (5), 2 (3), 3 (2), 4 (1) e 2 (1)

Vaschetta	N. tot. Pisoliti	Numero pisoliti per gruppo dimensionale															
		0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	20-21
1 (5)	19				1	3	5	2	2		1	2		1		1	1
2 (3)	23			3	12	6	1	1									
3 (2)	22			1	10	5	2	1				1	2				
4 (1)	22			2	10	3	4	2		1							
Totale	86			6	33	17	12	6	2	1	1	3	2	1		1	1
2 (1)	86	33	20	13	7	5	2	3	1	1		1					



tutte le altre 4 vaschette, ove poi vi è anche una differenza tra la 1 (5) e le altre 3.

In fig. 7 sono fotografate le sezioni di due pisoliti della vaschetta 2 (1) a confronto con due pisoliti della vaschetta 2 (3), per evidenziare la notevole differenza che mediamente è stata riscontrata nel diametro dei nuclei stessi.

L'analisi statistica dei nuclei delle pisoliti sembra indicare con un alto grado di attendibilità che la classe minore di pisoliti presente all'interno di una vaschetta dipende esclusivamente dalla dimensione dei granuli utilizzabili come nuclei di partenza.

Infatti si deve considerare che i valori di Tab. 3 sono certamente valori per difetto, e questo tanto più quanto maggiore è il nucleo, data l'oggettiva difficoltà di sezionare le pisoliti lungo l'asse massimo di un nucleo che non è mai sferico. Ora dato che il massimo numero dei nuclei per le vaschette 1 (5), 2 (3), 3 (2), 4 (1) è attorno ai 4 mm, possiamo concludere che in tutte queste vaschette non sono state trovate pisoliti della classe 4-5.6 semplicemente perché non vi esistevano nuclei di partenza così piccoli da permetterne la formazione.

Ma la causa dell'assenza di nuclei piccoli all'interno di una vaschetta può essere solamente l'esistenza di una turbolenza tale per cui i granuli inferiori ad una data dimensione non possono rimanere all'interno della vaschetta medesima per un tempo sufficientemente lungo da essere concrezionati.

E quindi, in ultima analisi, le pisoliti più piccole all'interno di ogni vaschetta praticamente ci indicano il grado di turbolenza massima che può essere raggiunto all'interno.

Il fatto che la distribuzione dei nuclei nella vaschetta 1 (5) indichi la presenza di elementi assai maggiori di quelli presenti mediamente nelle altre tre vaschette è perfetta-

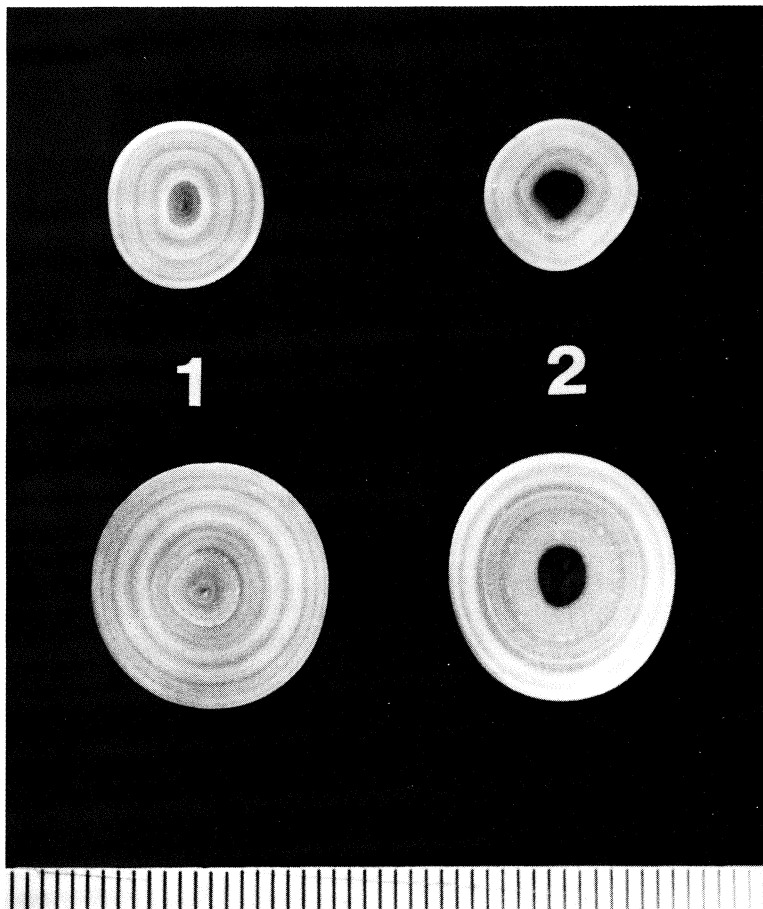


Fig. 7 - Sezioni di pisoliti della vaschetta 2 (1) (1) e della vaschetta 2 (3) (2). Si noti la differenza nelle dimensioni del nucleo che per le pisoliti della vaschetta 2 (1) è inferiore al mm, mentre nel caso della 2 (3) è dell'ordine dei 4-5 mm.

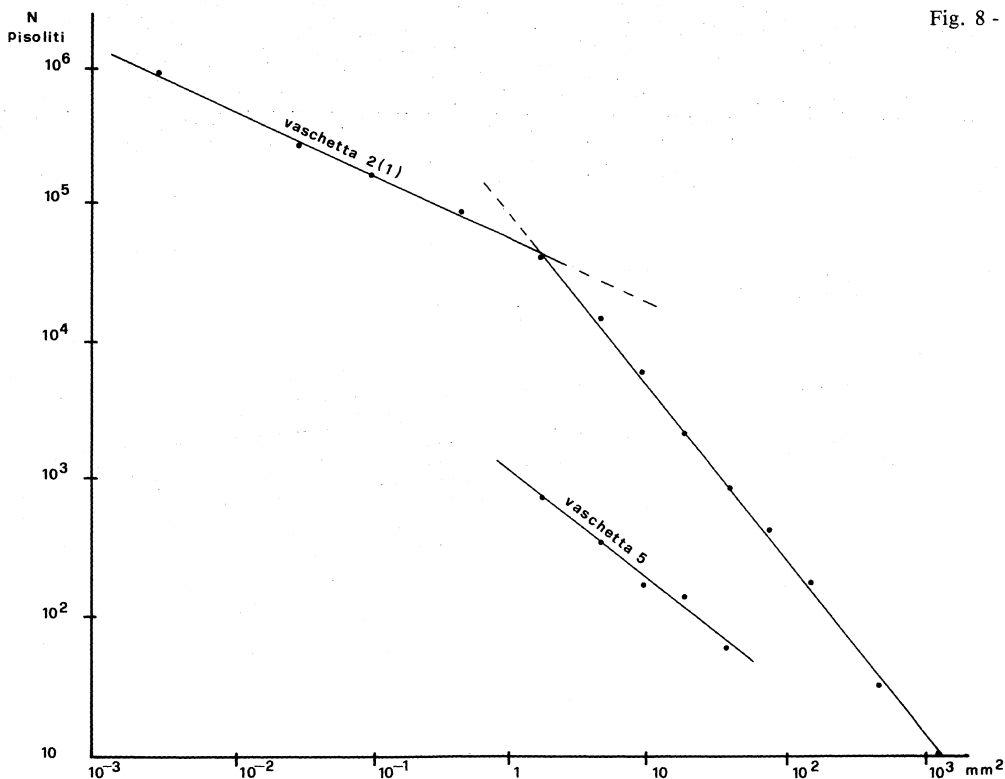
La scala alla base della figura è in millimetri. (Foto Paolo Ferrieri)

mente in linea con quanto appena esposto: infatti, per la sua posizione, la vaschetta 1 (5) è sicuramente soggetta a correnti più alte di quelle delle altre vaschette nel caso di piena del torrente.

La stessa cosa ma in senso opposto vale, per quanto già detto precedentemente, per la vaschetta 5 e a maggior ragione per la vaschetta 2 (1) che evidentemente si trova in una zona assolutamente tranquilla e riparata e tale per cui nessun granulo, neppure minimo, può sfuggire dalla vaschetta.

La presenza poi di una vaschetta quale la 2 (1) con un elevatissimo numero di pisoliti distribuito su molte classi granulometriche (v. tab. 2) ci permette poi di verificare statisticamente se esista una relazione tra il numero di pisoliti e la loro dimensione.

Immediatamente si può notare che il numero delle pisoliti tende ad aumentare col diminuire della classe granulometrica di appartenenza e che cioè è inversamente proporzionale alla dimensione delle pisoliti stesse.



Poiché il fenomeno di accrescimento delle pisoliti avviene per deposizione di materiale sulla superficie delle stesse si è pensato logico utilizzare quest'ultima come parametro rispetto a cui plottare il numero di esemplari.

In fig. 8 è riportato il grafico relativo appunto a questo rapporto per le pisoliti della vaschetta 2 (1): come si può notare i vari punti sperimentali giacciono su due rette con differenti coefficienti angolari, che si incontrano attorno al punto relativo alla classe granulometrica 1-0.5.

Il risultato ottenuto per la vaschetta 2 (1) è confermato in parte dall'analogo studio della vaschetta 5, l'unica altra vaschetta che possiede un numero di pisoliti sufficiente a condurre una analisi statistica minimamente attendibile.

Anche in questo caso il grafico ottenuto è una retta, anche se con pendenza leggermente differente.

Da quanto ottenuto si può concludere che nelle vaschette in cui la turbolenza non gioca un ruolo fondamentale, e dove quindi esistono un elevato numero di piccole pisoliti, esiste una semplice e diretta relazione tra il numero e l'inverso della superficie delle pisoliti stesse:

$$N_{\text{pis.}} = K.1/\text{Sup.}$$

Tale risultato è del tutto logico poiché aumentando la superficie aumenta di pari passo la quantità di materiale necessario per permettere la crescita che quindi risulta sempre più difficile rispetto a quella di pisoliti più piccole.

Questo naturalmente è vero quando non vi siano fattori perturbanti esterni, quali la mancanza di nuclei adatti, che influenzino in maniera differente il processo di deposizione.

Allo stato attuale delle conoscenze, invece, con solo gli esempi sperimentali del Buco del Castello a nostra disposizione, non è possibile spiegare da che cosa dipenda esattamente la costante di proporzionalità K e perché cambi bruscamente a livello della classe granulometrica 0.5-1.

CONCLUSIONI

L'analisi delle pisoliti rinvenute nel Ramo Nuovo del Buco del Castello ha permesso di evidenziare innanzitutto come la dimensione minima delle pisoliti presenti in una determinata vaschetta dipenda esclusivamente dal grado di turbolenza all'interno della vaschetta medesima.

Inoltre è stato possibile appurare che in assenza di agenti perturbatori esiste una dipendenza lineare tra la superficie delle pisoliti ed il loro numero.

Quest'ultimo risultato, che potrebbe esser molto importante per la definizione del modello matematico dell'evoluzione delle pisoliti, necessita ovviamente di ulteriori conferme e controlli, che saranno possibili non appena si potranno analizzare degli insiemi omogenei di pisoliti statisticamente sufficientemente significativi, cioè elevati in numero di elementi, provenienti da altre grotte sia Italiane che straniere.

A questo proposito possiamo accennare che è già allo studio, con criteri analoghi a quelli utilizzati nel presente lavoro, un'insieme di oltre 2 milioni di pisoliti di aragonite provenienti da una cavità naturale incontrata da una miniera nell'Iglesiente (FABBRI M., FORTI P., 1981) e che i primi risultati sembrano confermare quelli esposti in questo lavoro.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori sono grati a quanti del Gruppo Grotte Milano hanno collaborato alla raccolta delle pisoliti ed in particolare ad Adriano Vanin, Silvio Gori e Luciano Diamanti che ha diretto le operazioni ed ha conservato per tutti questi anni le pisoliti stesse.

BIBLIOGRAFIA

- BINI A. & FORTI P., 1981 - *Genetical observations on some macrocrystal cave pearls found in two caves of Lombardia (Northern Italy)*. Proceedings of VIIIth Int. Spel. Congr. Bowling Green: 747-750.
- FABBRI M. & FORTI P., 1981 - *Recenti esplorazioni speleologiche nell'Iglesiente (Sardegna Sud-Occidentale)*. Sottoterra 57: 11 pp.
- ULLASTRE S. & MASRIERA A., 1973 - *Morfogenesis de los oolitos y pisolitos de las cavernas*. Speleon 20: 5-61.
- VANIN A., 1974 - *La morfologia del Buco del Castello - 1309 Lo Bg*. Atti XI Congr. Naz. Speleol., Genova 1972; Rass. Spel. It., Como 1974, Mem. XI Tomo 1: 135-144.

Indirizzo degli Autori:

ALFREDO BINI, via Verro 39c - 20141 MILANO

PAOLO FORTI, Istituto Italiano di Speleologia, via Zamboni 67 - 40127 BOLOGNA